

Brechungsindexverteilung von Mosquito-Lichtwellenleitern

L. Fütterer*, C. Zander**, A. Evertz*, G. Hohenhoff**, P. Jäschke**, S. Kaieler* **, L. Overmeyer* **

*Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, Leibniz Universität Hannover

**Laser Zentrum Hannover e.V.

mailto: laura.fuetterer@ita.uni-hannover.de

Für die Integration optischer Datenübertragungsleitungen in räumliche Schaltungsträger kann das Mosquito-Verfahren zur Herstellung von Lichtwellenleitern in Kavitäten eingesetzt werden. Durch Diffusion von Kern- und Mantelmaterial im Nass-in-Nass-Verfahren werden Gradientenindex-Lichtwellenleiter hergestellt, welche hinsichtlich ihres Brechungsindexverlaufs untersucht werden.

1 Einführung

Durch die immer weiter fortschreitende Miniaturisierung gilt es, möglichst viele Funktionen auf kleinstem Bauraum zu realisieren. Die bestehende MID-Technologie (Mechatronic Integrated Devices) ermöglicht bereits die Integration von mechanischen und elektrischen Funktionen auf einem räumlichen Schaltungsträger. [1] Zur Erweiterung des Funktionsumfangs der bestehenden Technologie um eine optische Übertragungsstrecke wird ein neuartiger Ansatz unter Nutzung der Mosquito-Methode zur Herstellung von Lichtwellenleitern verfolgt.

Die Mosquito-Methode ist ein Nass-in-Nass Dispensierprozess, bei dem eine Mikrodispensiernadel in flüssiges Mantelpolymer eintaucht und Kernpolymer mit höherem Brechungsindex während einer Relativbewegung zwischen Nadel und Substrat appliziert. Anschließend werden die Polymere durch UV-Strahlung ausgehärtet. Um ein formschlüssiges 3D-Bauteil zu erhalten und ein Wegfließen des Mantelmaterials zu minimieren, wird der Lichtwellenleiter in einer Kavität hergestellt.

2 Probenherstellung und Präparation

Die Prozesskette zur Herstellung von mosquito-dispensierten Lichtwellenleitern auf dreidimensionalen Oberflächen wird bereits in [2] ausführlich vorgestellt. Als Kavitäten werden 3D-gedruckte SLA-Substrate mit rechteckigen Aussparungen verwendet. Bei dem in Abbildung 1 dargestellten Versuchsaufbau wird zunächst das Mantelmaterial OrmoClad® ($n=1,537$) mit einem Dispenser in die Kavität gefüllt. Anschließend sticht eine Dispensiernadel mit einem Innendurchmesser von $110\ \mu\text{m}$ in das noch flüssige Polymer und injiziert OrmoCore® als Kernmaterial. Dabei wird eine Verfahrensgeschwindigkeit von $5\ \text{mm/s}$ und ein Dispensierdruck von $1,5\ \text{bar}$ genutzt. Durch die serielle Abfolge der Prozessschritte ergibt sich eine minimale Verzögerung zwischen dem Beginn des Polymerauftrags und dem Beginn der UV-Härtung von $15,5\ \text{s}$. Für eine qualitative Untersuchung des Brechungsindexverhaltens

über die Zeit werden zusätzlich Proben mit weiteren Verzögerungen von $15,5+x\ \text{s}$ ($x_1=30\ \text{s}$ bzw. $x_2=60\ \text{s}$) hergestellt. In den folgenden Abschnitten werden die jeweiligen Proben nur mit ihrer zusätzlichen Verzögerung x bezeichnet.

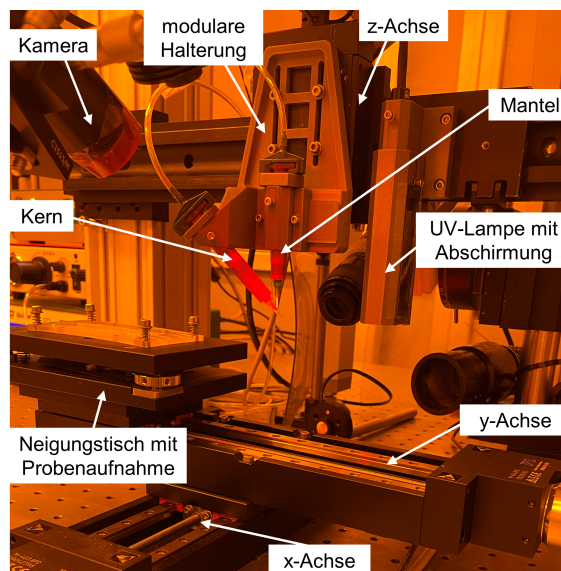


Abbildung 1 Versuchsaufbau

Zur Messung des Brechungsindex wird die Refracted-Near-Field-Methode angewendet. Wie von Oberson et al. beschrieben muss dazu die Endfacette sowie eine dazu orthogonale Fläche parallel zum Lichtwellenleiter eine hohe optische Güte aufweisen. [3] Dies bedingt eine geringe Rauheit ($R_q < 200\ \mu\text{m}$) und Welligkeit. Dazu wird das SLA-Substrat mit dem mosquito-dispensierten Lichtwellenleiter oberflächenpoliert und stirnseitig mit einem MKD-Fräser fräspoliert.

3 Ergebnisse

Zur Lokalisierung des Kerns innerhalb des Mantelmaterials werden zunächst Mikroskopaufnahmen der geschliffenen Stirnfläche angefertigt. Diese sind in Abbildung 2 dargestellt. Zur Verdeutlichung ist der

Kern mit einer grau gestrichelten Linie umrandet, da der Kontrast zwischen Kern- und Mantelmaterial aufgrund der geringen optischen Unterschiede sehr schwach ist.

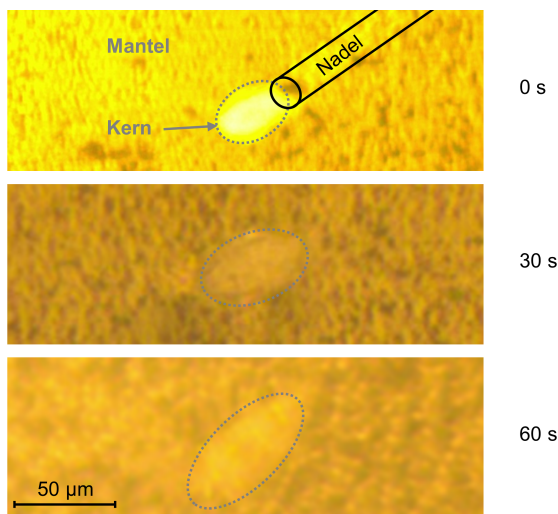


Abbildung 2 Mikroskopieaufnahme der fräspolierten Stirnflächen nach verschiedenen zusätzlichen Verzögerungen der UV-Aushärtung (Kern gestrichelt hervorgehoben)

Es ist zu erkennen, dass alle drei Proben ovale Kerne mit einer langen Achse nach rechts oben aufweisen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Dispensiernadel des Kerns seitlich in das Mantelpolymer eindringt, da diese versuchsaufbaubedingt um zwei Achsen verkippt ist. Weiterhin ist zu erkennen, dass mit zunehmender Verzögerungszeit die Grenzfläche zwischen Kern- und Mantelmaterial weiter aufweicht und der Kontrast abnimmt. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass die beiden Materialien OrmoCore® und OrmoClad® im flüssigen Zustand ineinander diffundieren und es zur Ausbildung von Gradientenindex-Lichtwellenleitern (GI-LWL) kommt.

Die in Abbildung 3 dargestellten Brechungsindexmessungen an den Stirnflächen bestätigen die Bildung von GI-LWL bei der Herstellung mit dieser Materialkomposition. Die Bilder zeigen eine allmähliche Abnahme des Brechungsindex vom Kern hin zum Mantel. Dies wurde qualitativ analysiert, indem die minimalen Pixelabstände zwischen den Brechungsindexwerten des Kerns mit $n=1,555$ und des Mantels mit $n=1,537$ bestimmt wurden. Es zeigt sich ein deutlicher Anstieg von $8 \mu\text{m}$ nach 0 s auf über $21 \mu\text{m}$ nach 60 s (siehe Tab. 1).

0 s	30 s	60 s
$7,9 \pm 2,27 \mu\text{m}$	$10,5 \pm 1,8 \mu\text{m}$	$21,5 \pm 2,3 \mu\text{m}$

Tabelle 1 Minimale Pixelabstände zwischen Kern- ($n=1,555$) und Mantelmaterial ($n=1,537$)

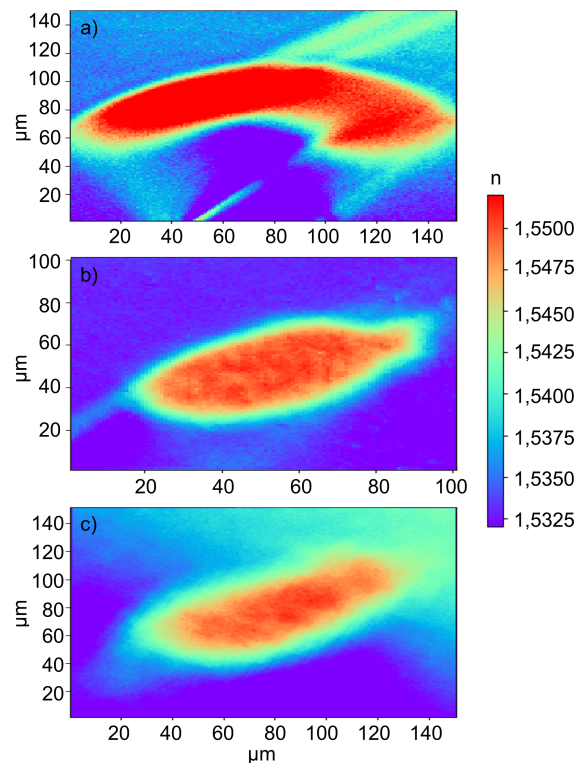


Abbildung 3 Brechungsindexverteilung nach a) 0 s , b) 30 s und c) 60 s Verzögerungen der UV-Aushärtung

4 Zusammenfassung

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass sich mit der verwendeten Materialkomposition mosquito-dispensierte Lichtwellenleiter GI-LWL bilden. Darüber hinaus stellt die Verzögerungszeit einen neuen Prozessparameter dar. Die Kenntnis der Diffusionsrate in Kombination mit der Verzögerung der UV-Aushärtung ermöglicht es, in zukünftigen Forschungsarbeiten singlemodige Lichtwellenleiter zu fertigen.

5 Förderung

Diese Untersuchung ist Teil des IGF-Projekts 3D-MosquitOPrint (01IF22434N).

Literatur

- [1] J. Franke, *Three-dimensional molded interconnect devices (3D-MID): Materials, manufacturing, assembly and applications for injection molded circuit carriers* (Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2014).
- [2] L. Fütterer, C. Zander, E. Olsen, K. Pflieger, A. Evertz, G. Hohenhoff, P. Jäschke, S. Kaierle, and L. Overmeyer, "Mosquito-dispensed waveguides in cavities on 3D-MIDs," in *2023 15th International Congress Mechatronic Integration Discourse (MID)*, pp. 1–5 (2023).
- [3] P. Oberson, B. Gisin, B. Huttner, and N. Gisin, "Refracted near-field measurements of refractive index and geometry of silica-on-silicon integrated optical waveguides," *Applied optics* **37**(31), 7268–7272 (1998).